



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
CURSO DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Mariana Machado Freitas

**Influência do regime de fogo na composição funcional dos campos subtropicais de
altitude do Parque Nacional de São Joaquim - SC**

Florianópolis

2023

Mariana Machado Freitas

Influência do regime de fogo na composição funcional dos campos subtropicais de altitude do Parque Nacional de São Joaquim - SC

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Ciências Biológicas do Centro de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Licenciada em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Joner

Florianópolis

2023

Machado Freitas, Mariana

Influência do regime de fogo na composição funcional dos campos subtropicais de altitude do Parque Nacional de São Joaquim - SC / Mariana Machado Freitas ; orientador, Fernando Joner, 2023.

23 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Biológicas, Graduação em Ciências Biológicas, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Ciências Biológicas. 2. diversidade funcional. 3. campos subtropicais de altitude. 4. distúrbio fogo. 5. unidade de conservação. I. Joner, Fernando. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Ciências Biológicas. III. Título.

Mariana Machado Freitas

Influência do regime de fogo na composição funcional dos campos subtropicais de altitude do Parque Nacional de São Joaquim - SC

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Licenciada em Ciências Biológicas e aprovada em sua forma final pelo Curso de Ciências Biológicas.

Centro de Ciências Biológicas, 05 de dezembro de 2023.

Insira neste espaço
a assinatura

Coordenação do Curso

Banca examinadora

Insira neste espaço
a assinatura

Prof. Dr. Fernando Joner
Orientador

Insira neste espaço
a assinatura

Prof. Dr. Eduardo L. H. Giehl
UFSC

Insira neste espaço
a assinatura

Dr. André Giles
UFSC

*“Amava e temia o fogo,
ele me acompanhava
se mostrando promessa e vida”*

Trecho adaptado de “*Salvar o fogo*” - Itamar Vieira Junior

Dedico este trabalho às minhas avós
Ione Terezinha (*in memoriam*),
Maria Abeti e Tereza (*in memoriam*),
por todo afeto, aprendizados e inspiração.
Dedico também a minha mãe Marcia,
meu pai Valci, minha irmã Tatiana
e meu companheiro Adriano,
assim como às amizades cultivadas
nas encruzilhadas da vida, por tudo e tanto.

AGRADECIMENTOS

*Para que eu chegasse até aqui, muita água já rolou,
apesar das barreiras, muita gente teve que ser correnteza.
Para que eu chegasse até aqui, meus ancestrais foram correnteza,
o amor foi correnteza e muita correnteza foi amor.
Para que eu chegasse até aqui..*

“Correnteza”, Thiago Elniño.

Agradeço as/os minhas/meus ancestrais, destacando minhas bisavós Emanuela (paterna) e Francisca (materna), ambas de origem indígena e etnias apagadas pelo curso da colonização. Mesmo pelo breve contato durante os primeiros anos da minha existência, mantenho viva na chama da memória o zelo de vocês por mim.

À minha avó paterna Ione Terezinha, por ter sido a mulher mais corajosa, mística, destemida e “desbocada” que já conheci, meu grande exemplo de força, luta, resiliência e empoderamento. Lembro das tuas conversas com as plantas e os sapos no quintal de casa, lá onde, enfim, realizou o sonho de morar na praia, findando seu percurso na terra nas restingas do Quintão. Hoje, com mais bagagens das vivências no mundo, penso nas conversas profundas que poderíamos ter tido, das histórias sobre os caminhos que percorreu e não me contou. A ti deixo meu eterno e mais profundo amor, te tenho comigo por onde for. Dessa correnteza, agradeço aos meus tios e tias, principalmente as tias Ana Laura, Marise e Viviane, mulheres espelhadas na vó Ione, guerreiras sem tamanho, cada qual com sua personalidade, mas todas ligadas pelo axé da Umbanda.

No fluxo das águas da minha ancestralidade, agradeço à minha avó Maria Abeti e ao meu avô João (*in memoriam*), catarinenses que migraram para o Rio Grande do Sul em busca de melhores condições de vida, levando consigo os saberes tradicionais da sua terra. A casa da vó sempre foi lugar de histórias, aconchego, fruta no pé e afetos culinários que nutrem e conectam nossa família. Sou grata a meus tios e tias, especialmente ao tio John, por levar eu, mana, Manda, Tê e Vi ao parque Saint Hilaire praticamente todos os finais de semana. Estes momentos firmaram nossos laços familiares e nos conectaram com a natureza, fosse durante as caminhadas, na escuta de passarinhos ou no abraço e subida nas árvores. Ao tio Marcos que, mesmo com toda pinta de sério, nos ensinou sobre uma vida com autonomia e autossuficiência. Além da tia Sirlei, pessoa que considero minha segunda mãe, por todo seu

cuidado, carinho e acolhimento. Tua empatia com as pessoas é uma das coisas mais bonitas que trago de aprendizado na vida.

Nesse fluxo corrente, agradeço a minha base fundamental, minha mãe, mulher que me carregou no seu ventre e que me nutre para todo o sempre com seu afeto, amizade íntima, confiança, persistência e inspiração. Foi através de ti que conheci Paulo Freire. Não é atoa que te tenho como minha maior referência no ser educadora dentro da sala de aula. Ao meu pai, por todo amor, parceria, cumplicidade, exemplo de humildade e luta, me ensinando a ter empatia com os seres humanos e não humanos. Tu é o pai mais maravilhoso que a vida poderia me presentear! À minha irmã Tatiana, que chegou nesse mundo me mostrando o quão intenso pode ser o laço de um ser com o outro, tu é inspiração, motivação e amor profundo. Gratidão por ter vocês na minha vida, como minhas amigas mais íntimas. Meu eterno e mais profundo amor.

Sou grata a tia Tereza e ao tio Lauri, avós que as encruzilhadas dos encontros teceu na vida da minha família, uma relação de vizinhes que se tornou uma amizade para toda vida. Além da minha base familiar, vocês foram as pessoas que mais me incentivaram a estudar, ter a perspectiva de fazer uma faculdade, aprender uma nova língua.. alimentaram em mim o sonho de conhecer a vida para além da Vila Aparecida. Sempre terei na lembrança a casa repleta de plantas e animais, a casa que sempre estava aberta para receber a visita da vizinhança, que reunia boa parte da rua para comemorar os aniversários, com muito samba, mocotó, risos e conversas. Vocês são parte viva dentro de mim, grata por tanto!

Agradeço profundamente ao Adriano, que pr'além de meu companheiro de vida, foi a pessoa que me apresentou o encanto da biologia, os morros e cachoeiras de Maquiné, e principalmente, novas perspectivas sobre o mundo e suas relações. Tu é amizade, amor, parceria profunda, contradição, motivação, conforto, acolhimento, aprendizado, música, partilha e vida. Sem ti, este trabalho não teria se concretizado. Gratidão profunda por cuidar da nossa grande família canina e felina enquanto eu estava em campo. Gratidão por acreditar no meu potencial, pelo chamego nos meus momentos de desespero, pelo zelo enquanto eu virava noites analisando dados. Nosso afeto é transformador.

Gratidão a minha família canina, Marx, Gaia, Gaara, Tózin e Tequila, além dos felinos Gerúndio, Mildred, Gatão, Gatãna, Kilua, Amora e Pretinho, vocês me nutrem com seus lambeijos e ronronadas, me acalmam quando a ansiedade aflora, me distraem nas aflições. É difícil explicar esse vínculo, mas nossa partilha é profunda e os aprendizados que vocês me propiciam são gigantescos.

Agradeço a CEPA Bom Samaritano, instituição de educação infantil e assistência social que trabalhei durante 4 anos, me propiciando a vivência docente com uma equipe incrível (Fatinha, Fabi, Marina, Wagner, William, Adriano, Marinelza, Vandinho, tio João, Arlete, Sônia, Tânia, Elaine, Eliane e Rosi) e com crianças e adolescentes de trajetórias profundas e repletos de afeto. Esses anos foram importantíssimos para a construção de quem sou hoje.

Gratidão ao PEAC (Projeto Alternativa Cidadã)! Posso dizer que esse projeto mudou os rumos da minha vida, da minha irmã, primos e amigadas da vila. Mesmo trabalhando 8h por dia, eu tinha como motivação encontrar o pessoal a noite, aprender sobre coisas que não vi durante o ensino médio, de forma crítica e construtiva. Foi lá, através de estudantes voluntárias da UFRGS que conheci o fascínio do universo biológico. Valeu PEAC, por atravessar a minha vida e de tantas outras pessoas da região metropolitana de POA, por ressignificar o espaço acadêmico como um horizonte possível nas nossas vidas.

Agradeço as minhas amigadas, tanto as que cultivei em Viamão e Tubarão, como as que a graduação (Clau, Edi, Maria, Duda, Dani, Gabs, Fê, Lyz, Guizi, Kelly, Lilo, Bela, Luli) e o Rio Vermelho me presentearam. Vocês são afeto, partilha, sonhos, motivação e inspiração!

Aquele salve ao Centro Acadêmico de Biologia da UFSC (CABio)! Meu percurso na graduação não seria o mesmo sem ter construído este espaço com o coletivo estudantil. Conheci e criei afetos tão profundos que levarei comigo para toda vida. Com vocês conheci mais sobre a prática efetiva da autogestão, a construção coletiva e horizontal, a formação política crítica e a luta pela classe popular. Minha profunda gratidão e amor a todos vocês, flores resilientes do CABio, especialmente àquelas com quem partilhei momentos profundos na Amazônia e manguezais paraenses (vai ficar pra sempre na memória). Nosso laço é micorrízico, nos conecta independente da distância e nutre com força e esperança no futuro. Amo muito vocês.

Agradeço a toda equipe do Herbário FLOR, Silvia, Luiza e Demétrio, que me acolheram como bolsista durante todo meu percurso na graduação. Além dos aprendizados sobre o universo biológico, construímos laços sinceros e profundos de amizade.

Deixo minha imensa gratidão ao Laboratório de Ecologia Aplicada (LEAp), especialmente ao meu orientador Fernando Joner, que confiou e acreditou nas minhas potencialidades, sempre dando palavras de motivação e partilhando ideias/saberes sobre a vida. Bela, Luli e Gabs, ter a companhia e parceria de vocês para trilhar os caminhos dos campos tornou este percurso ainda mais leve, afetuoso e profundo.

Por fim, agradeço também ao PELD-BISC por oportunizar o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa no Parque Nacional de São Joaquim, assim como à FAPESC que financiou as saídas de campo. Sou imensamente grata por toda parceria do Laboratório de Diversidade e Conservação, especialmente ao Prof. Edu, Sofia e Rafael, pessoas que me apresentaram os campos, parte de sua biodiversidade e principalmente, um pouco das histórias dos povos que ali firmaram seus pés e teceram suas culturas.

Este trabalho finda a minha jornada na graduação, mas abre uma encruzilhada de possibilidades e motivações para seguir meu percurso na área da pesquisa científica, algo que jamais imaginei na vida. O caminho segue, sendo construído por muitos laços, cursos d'água e correntezas. Gratidão a todo mundo, do fundo do meu coração.

RESUMO

A composição e estrutura das comunidades biológicas são moldadas por eventos ambientais e interações ecológicas ao longo do espaço e tempo. Entre esses eventos, os distúrbios desempenham papel crucial na manutenção da dinâmica dos processos ecossistêmicos e na definição dos padrões de biodiversidade. Ecossistemas campestres têm uma história evolutiva intimamente ligada a distúrbios como fogo e herbivoria, selecionando espécies capazes de responder rapidamente a esses filtros ambientais. Os campos subtropicais de altitude em Santa Catarina exemplificam essa dinâmica, onde o fogo e a herbivoria de animais de grande porte influenciam significativamente na manutenção dos mosaicos campo-floresta, promovendo a heterogeneidade de habitats para flora, funga e fauna, enquanto controlam o crescimento de espécies lenhosas arbustivas. A pesquisa dos atributos funcionais da vegetação emerge como ferramenta vital para compreender a dinâmica dos ecossistemas campestres, visando a implementação de planos de manejo seguros e efetivos que promovam a preservação da biodiversidade filogenética e funcional. O estudo visa analisar como a influência do histórico de distúrbios por fogo afeta a diversidade funcional das espécies predominantes nos campos de altitude do PNSJ. A área de estudo compreende os blocos amostrais do PELD-BISC no PNSJ, onde as espécies mais dominantes (cobertura $\geq 20\%$) nos quadrados amostrais foram amostradas para medição e análise dos atributos funcionais. Nossos resultados indicam que as espécies predominantes nos campos subtropicais de altitude do PNSJ são influenciadas pelo distúrbio de fogo. A altura das comunidades variou, sendo menor em blocos com queima mais recente. Espécies herbáceas responderam rapidamente aos distúrbios recentes, enquanto áreas com intervalos mais longos apresentaram a ocorrência de espécies lenhosas. A relação inversa entre SLA e LDMC sugere estratégias distintas de conservação de recursos. Contrariamente à expectativa, áreas com maior tempo sem fogo exibiram maior SLA. A divergência funcional foi positiva com a frequência do fogo, indicando maior variação nas características funcionais. O tempo prolongado sem fogo promoveu divergência e redução na uniformidade funcional, revelando respostas complexas das comunidades aos distúrbios. Os estudos futuros irão considerar espécies adicionais e variáveis ambientais para uma compreensão mais abrangente.

Palavras-chave: campos subtropicais de altitude; diversidade funcional; distúrbios; fogo; área de conservação.

ABSTRACT

The composition and structure of biological communities are shaped by environmental events and ecological interactions over space and time. Among these events, disturbances play a crucial role in maintaining the dynamics of ecosystem processes and defining biodiversity patterns. Grassland ecosystems have an evolutionary history closely linked to disturbances such as fire and herbivory, selecting species capable of responding quickly to these environmental filters. The subtropical high-altitude fields in Santa Catarina exemplify this dynamic, where fire and large herbivore grazing significantly influence the maintenance of grassland-forest mosaics, promoting habitat heterogeneity for flora, fungi and fauna, while controlling the growth of woody shrub species. Research on the functional attributes of vegetation emerges as a vital tool for understanding the dynamics of grassland ecosystems, aiming to implement safe and effective management plans that promote the preservation of phylogenetic and functional biodiversity. This study aims to analyze how the influence of fire disturbance history affects the functional diversity of the predominant species in the high-altitude fields of PNSJ. The study area includes the sample blocks of PELD-BISC in PNSJ, where the most dominant species (coverage $\geq 20\%$) in the sample plots were sampled for measurement and analysis of functional attributes. Our results indicate that the predominant species in the subtropical high-altitude fields of PNSJ are influenced by fire disturbance. The height of the communities varied, being shorter in blocks with more recent burning. Herbaceous species responded quickly to recent disturbances, while areas with longer intervals showed the occurrence of woody species. The inverse relationship between SLA and LDMC suggests distinct resource conservation strategies. Contrary to expectations, areas with longer fire-free periods exhibited higher SLA. Functional divergence was positively related to fire frequency, indicating greater variation in functional traits. Prolonged periods without fire promoted divergence and reduced functional uniformity, revealing complex responses of communities to disturbances. Future studies will consider additional species and environmental variables for a more comprehensive understanding.

Keywords: high-altitude subtropical fields; functional diversity; disturbances; fire; conservation area.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CWM	Community level weighted means
FD	Functional diversity
FDis	Functional dispersion
FDiv	Functional divergence
FEve	Functional evenness
FRiq	Functional richness
LA	Leaf area
LDMC	Leaf dry matter content
PNSJ	Parque Nacional de São Joaquim
RaoQ	Rao's quadratic entropy
SLA	Specific leaf area
UC	Unidade de conservação

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
2.1 Objetivo geral.....	5
2.2 Objetivos específicos.....	5
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	5
3.2 Delineamento amostral e coleta de dados.....	6
3.3 Levantamento do histórico de queimadas nos 7 blocos amostrais.....	9
3.4 Análise de dados.....	10
4. RESULTADOS.....	10
4.1 Regime de fogo.....	10
4.2 Atributos funcionais das comunidades vegetais.....	11
4.3 Influência do fogo nos atributos funcionais das comunidades vegetais.....	15
5. DISCUSSÃO.....	17
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	19
AGRADECIMENTOS.....	20
REFERÊNCIAS.....	21

1. INTRODUÇÃO

A composição e estrutura das comunidades biológicas resultam da interação complexa entre eventos ambientais e processos ecológicos ao longo do tempo e espaço (DÍAZ & CABIDO, 2001; RICKLEFS, 2016). Destes eventos, os distúrbios desempenham um papel crucial na sustentação da dinâmica dos processos ecossistêmicos, influenciando os padrões de biodiversidade em termos taxonômicos, genéticos e funcionais (DÍAZ & CABIDO, 2001). O distúrbio pode ser definido como qualquer evento, natural ou impulsionado pelo ser humano, que ocasiona mudanças temporárias e localizadas nas taxas demográficas das espécies (MOUILLOT et al., 2013). Assim, a biodiversidade pode ser compreendida como uma manifestação direta da capacidade de resposta do funcionamento ecossistêmico às condições ambientais (RICKLEFS, 2016).

Ecossistemas campestres possuem uma trajetória evolutiva adaptada a distúrbios desencadeados por fogo e herbivoria, eventos que ocasionam a remoção parcial ou total da biomassa vegetal das comunidades (FIDELIS, 2020; SUHS et al., 2020). Em muitos casos, tais distúrbios estimulam a regeneração da vegetação, seja por meio da germinação de sementes do banco local ou do banco de gemas (localizadas acima e/ou abaixo do solo) (FIDELIS et al., 2014). A resposta da vegetação campestre após esses distúrbios é ágil, impulsionada pela capacidade de crescimento acelerado da maioria das espécies presentes no ecossistema, especialmente devido à contribuição do banco de gemas (FIDELIS et al., 2014).

O fogo, um fenômeno natural de longa data e amplamente difundido em diversos usos antrópicos, é reconhecido como um dos distúrbios mais antigos e ubíquos do mundo, apesar de seu potencial destrutivo. Seu impacto nas comunidades vegetais implica na persistência e seleção de espécies com processos morfológicos e fisiológicos que garantam estratégias de sobrevivência, moldando, assim, a estrutura e as propriedades funcionais das comunidades (FIDELIS, 2020; SILVEIRA, 2022). Contrariamente à crença comum de que ecossistemas abertos são exclusivamente resultados de ambientes perturbados por atividades humanas, é importante notar que o fogo está intrinsecamente vinculado ao surgimento das primeiras plantas muito antes da presença humana (PAUSAS et al., 2009; FIDELIS, 2020). As plantas, ao contribuírem para a produção de biomassa e o aumento da concentração de oxigênio na atmosfera, juntamente com outras fontes de ignição como erupções vulcânicas e descargas elétricas, desempenharam um papel fundamental na ocorrência dos eventos de fogo (PAUSAS et al., 2009).

A herbivoria representa outro distúrbio com papel crucial na evolução dos ecossistemas campestres, tendo em vista que desde o final do Mioceno, através da megafauna herbívora, causa influência na manutenção e estruturação desses ambientes. Em resposta a essa pressão seletiva, as espécies campestres desenvolveram características adaptativas, como crescimento rizomatoso (caule subterrâneo com gemas) ou prostrado (crescimento rente ao solo) em decorrência do distúrbio (GALETTI et al., 2018).

Os campos subtropicais de altitude do planalto catarinense, ecossistemas isolados em zonas de maior altitude (BOLDRINI, 2002), desempenham papel crucial na conservação de recursos hídricos, na produtividade primária, regulação do clima e serviços culturais (PILLAR et al., 2009; AXIMOFF & BRAGA, 2016). A fitofisionomia destes campos é caracterizada por espécies herbáceas e eventual presença de espécies arbustivas (formação gramíneo-lenhosa), formando mosaicos de campos entremeados a matinhas nebulares¹ e Floresta Ombrófila Mista (ZANIN, 2009). Refletindo sobre o contexto evolutivo, ao longo do Holoceno, registros de paleoincêndios, evidenciados por depósitos de carvão em turfas, estão associados a fatores abióticos e à chegada de populações indígenas que utilizavam o fogo para manejo ambiental dos campos (OVERBECK et al., 2007; PILLAR et al., 2009; BOLDRINI, 2009). Essa dinâmica evolutiva inclui também a pressão ambiental da herbivoria da megafauna já extinta (OVERBECK et al., 2007; STAUDE et al., 2023).

Além das perturbações fogo-pastejo, outros fatores abióticos exercem forte influência nos ecossistemas dos campos de altitude. Há aproximadamente 40 a 10 mil anos, o clima regional era seco e ainda mais frio, criando uma barreira significativa à disseminação de espécies florestais, resultando na predominância dos campos na região (KLEIN, 1984; BOLDRINI, 2009). Após esse período, as temperaturas gradualmente aumentaram, tornando o ambiente mais úmido e, no entanto, as matas com araucárias não se expandiram sobre os campos de altitude (OVERBECK et al., 2007). O ambiente é influenciado pela sazonalidade marcada, com períodos de intensa geada, registros de neve, ventos constantes e acúmulo de biomassa dessecada no inverno (ASSIS & MATTOS, 2016). Portanto, os campos subtropicais de altitude não representam um estágio sucessional de florestas perturbadas, mas sim, um ambiente que reflete as condições pretéritas às quais foi submetido no curso da evolução. Esses ecossistemas abrigam uma ampla diversidade de espécies endêmicas, corroborando com

¹ Matas com grande densidade de espécies arbustivas/arvoretas (embora pouca riqueza de espécies) recobertas por epífitas que ocorrem nas encostas mais íngremes de altitude, com períodos frequentes de intensa neblina/cerração (Falkenberg, 2003).

sua existência há tempo suficiente para o processo de especiação (BOLDRINI, 2009; SÜHS, 2019).

A atual preservação dos campos de altitude como testemunho relictual, conforme salientado por Klein (1984), provavelmente se deve à manutenção de distúrbios causados pelo fogo de origem antrópica e pela herbivoria de animais de grande porte (PILLAR et al., 2009; OVERBECK et al., 2018; SÜHS, 2019). Ambos os distúrbios impactam aspectos funcionais da vegetação, como a produção de biomassa, altura e número de camadas vegetativas, moldando a fisionomia das comunidades (HERINGER & JACQUES, 2001; JONER et al., 2021). Após o incêndio, alguns dos efeitos do fogo incluem o aporte de nutrientes e a remoção da cobertura vegetal, provocando alterações na dominância de espécies e, conseqüentemente, reduzindo a competição interespecífica. Contudo, é crucial considerar que os impactos do fogo na biodiversidade dependem da frequência, amplitude e época de ocorrência (KEELEY et al., 2011; FIDELIS et al., 2012; JONER et al., 2021).

Os distintos filtros ambientais mencionados até aqui desempenham papel crucial na seleção dos atributos funcionais das espécies, características que moldam a interação e contribuição dos organismos para o funcionamento ecossistêmico (KEDDY, 1992). Esses atributos funcionais compreendem as características morfofisiológicas dos indivíduos de uma espécie, influenciando o crescimento, reprodução e sobrevivência no ambiente (POORTER, 2008; KEELEY et al., 2011). As mudanças nos atributos das espécies refletem na estrutura das comunidades, alterando as abundâncias populacionais (KEELEY et al., 2011). Dessa forma, mensurar a diversidade funcional significa conhecer as características funcionais dos organismos, obtendo informações sobre como as espécies respondem a diferentes pressões ambientais e como elas podem afetar os processos, serviços e a estabilidade dos ecossistemas (DÍAZ & CABIDO, 2001; CIANCIARUSO et al., 2009).

Atualmente, parte dos campos de altitude de Santa Catarina encontram-se protegidos pela Unidade de Conservação do Parque Nacional de São Joaquim (PNSJ). Apesar da nobre intenção de preservar os ecossistemas e sua rica biodiversidade, a ausência de qualquer prática de manejo nos campos pode, ironicamente, acelerar seu caminho rumo à extinção (OVERBECK et al., 2007; STAUDE et al., 2023). Nas áreas em que a posse foi regularizada pelo parque, proibindo atividades como queima controlada e pastejo pela pecuária extensiva, tem-se observado a substituição de espécies herbáceas pela proliferação de poucas espécies lenhosas subarbustivas/arbustivas, como *Baccharis uncinella* e outras do mesmo gênero (SÜHS et al., 2020). Essa transformação não apenas descaracteriza os campos subtropicais de altitude, mas também eleva a probabilidade e a intensidade de incêndios de origem antrópica,

acidentais ou criminosos (em sua maioria). Diante desse cenário, torna-se crucial considerar o fogo e o pastejo extensivo como ferramentas legais para a conservação dos ecossistemas campestres, enfatizando a importância de estudar os regimes de queima para assegurar resultados eficazes no manejo (OVERBECK et al., 2007; JONER et al., 2021).

O fogo faz parte da dinâmica natural dos campos e, no contexto de mudanças climáticas acentuadas (HENN et al., 2022), pode se mostrar uma ferramenta importante na manutenção de ecossistemas campestres e dos mosaicos formados por campo-floresta (PILLAR et al., 2009). A diversidade de habitats que os mosaicos promovem satisfazem diversas necessidades da flora, funga e fauna (HERINGER & JACQUES, 2001; PILLAR et al., 2009), além do consequente controle do adensamento arbustivo (OVERBECK et al., 2007; SÜHS et al., 2018). Os distúrbios quando esparsos e intermitentes, que caracterizam os regimes naturais, mantêm a variedade de níveis de perturbação que as diversas espécies campestres necessitam, sendo a ausência generalizada ou excesso do distúrbio fogo-pastejo, igualmente prejudiciais à biodiversidade de ecossistemas campestres, ocasionando a redução da riqueza taxonômica e funcional devido à perda da heterogeneidade de habitat (PILLAR et al., 2009).

Com base no contexto apresentado, algumas indagações se mostram pertinentes para a compreensão das respostas funcionais dos campos frente aos distúrbios: (i) De que maneira o distúrbio por fogo influencia a composição funcional nesses variados habitats? Isso resulta em uma redução ou aumento na uniformidade funcional da vegetação? (ii) Como os níveis dos atributos funcionais da vegetação são ajustados em relação à frequência e ao intervalo temporal sem o distúrbio? Nossa suposição é que um período de 2-3 anos sem distúrbio promova um impacto positivo na riqueza funcional das comunidades. Já em períodos mais extensos sem distúrbio, prevemos que poderá haver uma maximização da riqueza funcional (MOUILLOT et al., 2013), no entanto, através da substituição de espécies herbáceas de hábito prostrado do estrato baixo e cespitosas no estrato médio para o domínio de espécies lenhosas subarbustivas/arbustivas e algumas gramíneas cespitosas, aumentando o potencial de inflamabilidade (PILLAR et al., 2009; JONER et al., 2021). Acreditamos que a ausência prolongada do distúrbio por fogo resultará em espécies com alturas e comprimentos foliares maiores, associados a valores reduzidos de SLA.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência do histórico do distúrbio por fogo na diversidade funcional das espécies mais abundantes das comunidades vegetais dos campos subtropicais de altitude do Parque Nacional de São Joaquim, em Santa Catarina.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

i. Avaliar se o distúrbio por fogo afeta os atributos funcionais das comunidades vegetais nos campos subtropicais de altitude do PNSJ;

ii. Analisar o impacto da janela de tempo sem o distúrbio por fogo (tempo desde o último evento de fogo) na composição funcional das espécies, analisando possíveis mudanças na dominância de diferentes grupos funcionais;

iii. Investigar se a substituição de espécies é influenciada pela frequência do fogo, identificando padrões de transição entre diferentes tipos de vegetação em resposta às perturbações;

iv. Analisar a relação entre os atributos funcionais das espécies (altura, comprimento, largura, área foliar, área foliar específica e conteúdo de matéria seca) e sua capacidade de substituir outras espécies em resposta ao fogo;

v. Realizar a coleta de alguns espécimes para incorporação no acervo do Herbário FLOR.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O Parque Nacional de São Joaquim (PNSJ) é uma Unidade de Conservação Federal localizada no Estado de Santa Catarina, Brasil, abrangendo áreas dos municípios de Bom Jardim da Serra, Urubici, Lauro Müller, Grão Pará e Orleans, totalizando 49.800 hectares. O PNSJ está inserido na vegetação de Mata Atlântica, abrigando as tipologias de Floresta Ombrófila Densa (FOD), Floresta Ombrófila Mista (FOM), matilhas nebulares e campos de altitude (Fig. 1), havendo ainda áreas de ecótonos nas transições desses ecossistemas (ICMBIO, 2022). Neste trabalho, os campos de altitude do parque foram o foco de estudo, compondo o Projeto de Pesquisa Ecológica de Longa Duração sobre a biodiversidade do estado de Santa Catarina (PELD - BISC), Brasil.



Figura 1. Tipologia de vegetação que compõe os mosaicos associados aos campos subtropicais de altitude. Imagem da autora.

O clima na região do PNSJ é definido como subtropical úmido, com registro - entre os anos de 1961 e 2016 - de precipitação média anual de 1.626,3 mm bem distribuídos no decorrer do ano, enquanto a temperatura média mensal registrada foi de 13,3°C. A temperatura média mínima registrada para o mês mais frio (julho) foi de 6,0°C, enquanto a temperatura média máxima para o mês mais quente (janeiro) foi de 22,9°C, conforme descrito por Sühs et al. (2019).

A vegetação é composta majoritariamente por espécies das famílias: Poaceae, Asteraceae, Fabaceae e Cyperaceae. Entre as espécies com menor abundância nas comunidades, é observada a presença das famílias: Apiaceae, Solanaceae, Rubiaceae, Lamiaceae e Verbenaceae (OVERBECK et al., 2007; BOLDRINI, 2009).

A área de estudo vinha sendo manejada tradicionalmente por pecuaristas locais, utilizando o fogo como ferramenta de manejo. Isso acaba viabilizando a brotação da vegetação campestre, o que, por sua vez, favorece as atividades relacionadas à pecuária extensiva (SÜHS, 2019).

3.2 DELINEAMENTO AMOSTRAL E COLETA DE DADOS

O trabalho foi desenvolvido dentro dos 7 blocos (Fig. 2) amostrais instalados em distintas regiões dos campos de altitude do PNSJ, sendo cada bloco composto por uma área fisionomicamente homogênea. Os blocos fazem parte do PELD-BISC, sendo subdivididos em 4 parcelas (Fig. 3) de, aproximadamente 70 m x 70 m, para o desenvolvimento do

experimento que envolve os tratamentos de i. pastejo, ii. fogo, iii. pastejo e fogo e iv. controle. Ressaltamos que este trabalho não é baseado nestes experimentos, tendo em vista que os mesmos tiveram início no mês de outubro de 2023, período posterior à finalização de nossas coletas. Dessa forma, o presente trabalho faz uma avaliação prévia da diversidade funcional das comunidades vegetais antes da aplicação efetiva dos tratamentos experimentais, relacionando o histórico de distúrbio por fogo obtido por imagens de satélite.

Os blocos amostrais foram utilizados para avaliação da composição da vegetação (CASALI, 2023) através dos 12 pontos permanentes contidos em cada uma das parcelas, denominados de “quadrados”, com tamanho 1 m x 1 m cada. Através do levantamento da composição florística, as espécies que apresentaram cobertura $\geq 20\%$ foram selecionadas para análise dos atributos funcionais. A medição dos atributos funcionais foi realizada em indivíduos localizados fora das áreas estabelecidas para os quadrados, mas dentro das parcelas de cada bloco, a fim de evitar a destruição das amostras com localização permanente e que futuramente serão reavaliadas para outros fins.

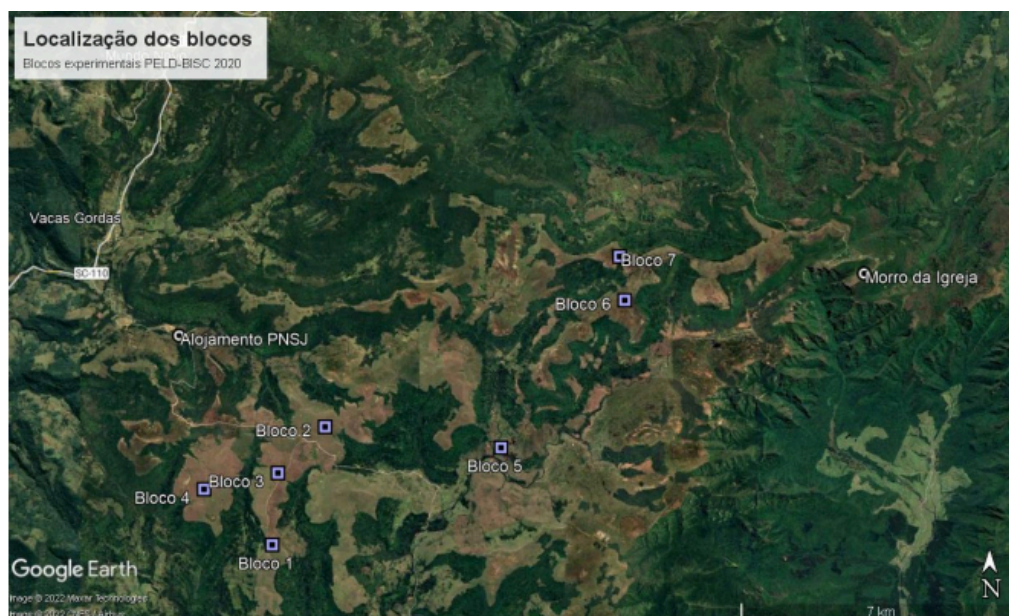


Figura 2. Imagem de satélite com a localização dos blocos amostrais no PNSJ.

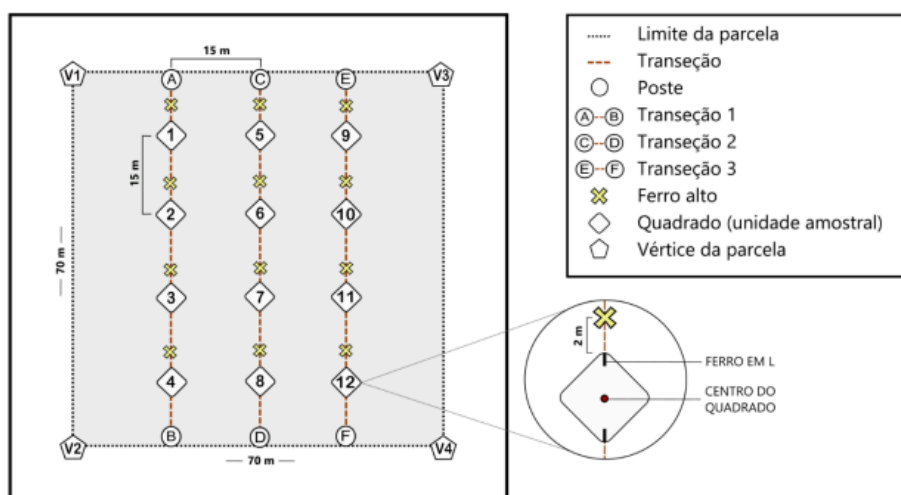


Figura 3. Composição das parcelas do PELD-Bisc nos campos de altitude do PNSJ.

Para as espécies que apresentaram cobertura $\geq 20\%$ nos quadrados amostrais, 25 indivíduos de cada espécie foram amostrados para mensurar a altura da estrutura vegetativa, enquanto os atributos foliares foram obtidos através da mensuração de 5 indivíduos de cada espécie. Os atributos funcionais foliares analisados foram: i. comprimento foliar, ii. largura foliar, iii. área foliar (Leaf Area - LA), calculada através da digitalização e processamento de imagem pelo aplicativo Easy Leaf Area Free (Fig. 4) e iv. aferição do peso fresco na balança de precisão. Posteriormente, as amostras foram levadas à estufa a uma temperatura de 60°C por 48h, sendo pesadas em balança de precisão para obtenção do peso seco.



Figura 4. Imagem de lâminas foliares de *Paspalum polyphyllum* utilizadas para o cálculo da SLA pelo aplicativo Easy Leaf Area Free.

Através das informações foliares das espécies mais abundantes mencionadas acima, foi possível obter os valores da área foliar específica (Specific Leaf Area - SLA: área foliar / massa seca = m^2/Kg) e do conteúdo de matéria seca foliar (Leaf Dry Matter Content - LDMC: massa seca / massa fresco = mg/g). A metodologia utilizada na coleta dos atributos funcionais foi proposta por Pérez-Harguindeguy (2013). Este conjunto de informações visam proporcionar uma maior compreensão das respostas da vegetação aos diversos fatores ambientais, especialmente ao distúrbio por fogo, que pode estar influenciando a abundância das espécies nas comunidades (DÍAZ & CABIDO, 2001).

3.3 LEVANTAMENTO DO HISTÓRICO DE QUEIMADAS E PASTEJO NOS 7 BLOCOS AMOSTRAIS

A análise do registro temporal do distúrbio por fogo nessas regiões foi realizada através de imagens dos satélites Landsat e Sentinel (Fig. 4), com tamanho correspondente à área de estudo e abrangendo integralmente os sete blocos. A detecção das queimadas foi feita de forma visual por Casali (2023). Foi avaliado a frequência de fogo (número de eventos de fogo por unidade de tempo), tempo sem fogo (quantidade de dias desde o último fogo) e presença de fogo recente.

O período temporal analisado compreende 32 anos, de 1990 a 2022, a partir de um total de 473 imagens. Foi possível obter dados robustos para o levantamento do histórico de queimadas de origem antrópica nas áreas correspondentes aos blocos do PELD. Com relação ao levantamento da intensidade de pastejo, foi considerado o número de esterco em um raio de 3 metros dos quadrados amostrais.



Figura 4. Exemplo de imagem de satélite (LANDSAT-7) com áreas queimadas (manchas escuras) na paisagem campestre em 11 de agosto de 2000, registro PELD-BISC.

3.4 ANÁLISE DE DADOS

Nossas análises buscaram investigar como as espécies diferem num espaço vetorial de atributos funcionais através da Análise dos Componentes Principais (PCA), assim como, a influência da recorrência e frequência do fogo, além do tempo sem fogo e da intensidade de pastejo sobre a diversidade funcional das comunidades. Com base nas matrizes de dados dos atributos funcionais e das respectivas coberturas de cada espécie para cada uma das parcelas dos 7 blocos amostrais, utilizamos o pacote “FD”, “ggplot2”, “dummy”, “nlme” e “lme4” no software RStudio para analisar as seguintes métricas e índices: Média Ponderada da Comunidade (CWM), Riqueza Funcional (FRic), Divergência Funcional (FDiv), Divergência Funcional Média (FDis), Uniformidade Funcional (FEve) e o índice multivariado da Entropia Quadrática de Rao (RaoQ), com a intenção de avaliar as variáveis respostas influenciadas pelos preditores fogo e pastejo, como apresenta o modelo abaixo:

$$\begin{aligned}
 \text{Atributos} &\sim \text{frequência do fogo} + \text{tempo sem fogo} + \text{recorrência do fogo} + \text{pastejo} \\
 \text{FRic} &\sim \text{frequência do fogo} + \text{tempo sem fogo} + \text{recorrência do fogo} + \text{pastejo} \\
 \text{FDis} &\sim \text{frequência do fogo} + \text{tempo sem fogo} + \text{recorrência do fogo} + \text{pastejo} \\
 \text{FDiv} &\sim \text{frequência do fogo} + \text{tempo sem fogo} + \text{recorrência do fogo} + \text{pastejo} \\
 \text{FEve} &\sim \text{frequência do fogo} + \text{tempo sem fogo} + \text{recorrência do fogo} + \text{pastejo} \\
 \text{RaoQ} &\sim \text{frequência do fogo} + \text{tempo sem fogo} + \text{recorrência do fogo} + \text{pastejo}
 \end{aligned}$$

Destacamos que os blocos não foram tratados como uma variável fixa nos modelos que exploraram os efeitos das variáveis preditoras. Isso ocorreu porque os blocos apresentam diferenças significativas entre si, e se os incluíssemos diretamente nos modelos, o efeito das variáveis resposta que avaliamos poderia ser obscurecido ou removido. Os blocos foram apenas incorporados na função para a análise dos atributos funcionais das comunidades vegetais.

4. RESULTADOS

4.1 HISTÓRICO DE QUEIMADAS

Nestes 32 anos analisados, a frequência média de ocorrência de fogo nos 7 blocos foi de 2 anos, sem haver nenhum bloco que apresentasse um desvio padrão consideravelmente distante desta janela de tempo. Com relação ao número de registros de queimadas neste período, o bloco 3 foi o que apresentou menos registros, totalizando 15 ocorrências, já o bloco 2 foi o que apresentou mais registros de fogo, totalizando 21.

ASTERACEAE	<i>Baccharis uncinella</i>	0	0	0	0	0	0	431
ASTERACEAE	<i>Chaptalia graminifolia</i>	16	140	25	17.5	27	14	8.5
POACEAE	<i>Chascolytrum serranum</i>	0	0	0	0	0	208	95.5
POACEAE	<i>Danthonia secundiflora</i>	328	724	173	34.5	26	4.5	61.5
POACEAE	<i>Deschampsia caespitosa</i>	6.5	63	1	1	2	50	56
POACEAE	<i>Digitaria phaeothrix</i>	203	159.5	787	1038	18	294	281
VERBENACEAE	<i>Glandularia jordanensis</i>	3	5.5	26	20	59	2	77
POACEAE	<i>Paspalum notatum</i>	4	152.5	3	0.5	1	1.5	8.5
POACEAE	<i>Paspalum polyphyllum</i>	18.5	89	23	48.5	55	15	1
MELASTOMATACEAE	<i>Rhynchanthera brachyrhyncha</i>	3.5	208	19	10	0	57.5	48
CYPERACEAE	<i>Rhynchospora sp.</i>	79.5	55.5	0	39	108	20	0
CYPERACEAE	<i>Scleria ciliata</i>	202	259.5	290	85	172.5	40	33.5
IRIDACEAE	<i>Sisyrinchium pendulum</i>	65	127	113.5	4.5	3	187.5	17
POACEAE	<i>Sorghastrum pellitum</i>	514	44	98	563	211	656	0
POACEAE	<i>Sporobolus aeneus</i>	70.5	127	926	17	0	0	0

Tabela 2. Porcentagem de cobertura para cada espécie nos 7 blocos amostrais.

De acordo com os resultados da análise de componentes principais (PCA), as variáveis de altura, área foliar (LA) e área foliar específica (SLA) demonstram uma forte associação com as características de tamanho e eficiência da folha, contribuindo significativamente para o primeiro componente principal. Por outro lado, as variáveis de comprimento e largura, emergem como importantes principalmente no segundo componente principal. Além disso, observa-se uma influência das características relacionadas à densidade de massa foliar (LDMC) nos componentes principais, sugerindo uma relação com a alocação de recursos e a estrutura física das plantas. De modo geral, os atributos parecem estar altamente correlacionados.

É possível observar que as espécies *Rhynchanthera brachyrhyncha* e *Glandularia jordanensis* se relacionam pelo atributo de largura no eixo 2, enquanto *Baccharis lymanii* pelos dois atributos. *Sisyrinchium pendulum*, *Deschampsia caespitosa*, *Danthonia*

secundiflora e *Scleria ciliata* foram fortemente influenciadas pelo eixo 1 devido ao LDMC. As espécies *Baccharis lymanii*, *Sporobolus aeneus*, *Paspalum notatum*, *Axonopus suffultus*, *Sorghastrum pellitum*, *Chascolytrum serranum* e *Andropogon lateralis* se relacionam devido aos atributos funcionais do comprimento foliar e da SLA, bastante influenciados pelo eixo 3.

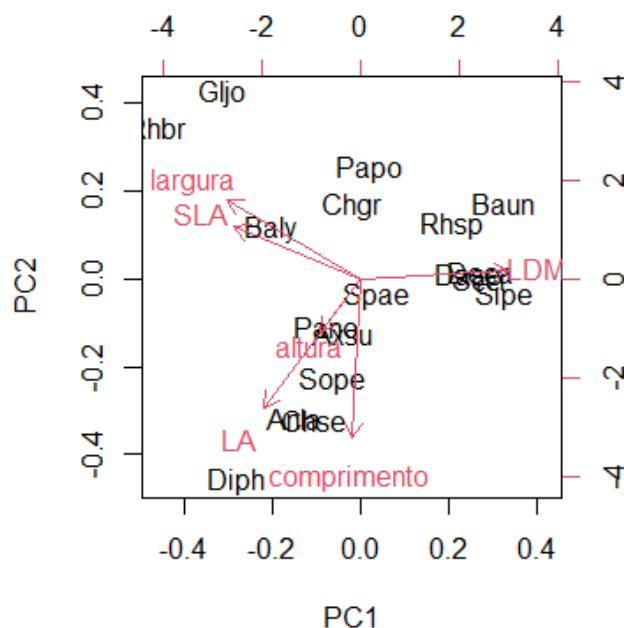


Figura 5. PCA dos atributos funcionais mensurados.

O tempo sem o distúrbio de fogo parece interferir na altura das comunidades nos blocos amostrais (Fig. 6), demonstrando que as comunidades com maior período de tempo sem o distúrbio apresentaram as alturas mais significativas, com destaque para o bloco 7, que teve uma variação de 33 cm a 40 cm. Nestes locais, observou-se a presença de espécies lenhosas de hábito subarbustivo/arbustivo, como *Baccharis uncinella* e *B. lymanii*, contribuindo significativamente para a cobertura vegetal. Por outro lado, observamos que o bloco 4 apresentou alturas semelhantes aos blocos com maior período de tempo sem a ocorrência do distúrbio. Ao analisar a composição das espécies mais abundantes, observamos que o bloco 4 é dominado por *Digitaria phaeothrix* (1038%), uma espécie perene que forma touceiras densas e habita áreas inundadas (DALMOLIM, 2013), seguida por *Andropogon lateralis* (816%) e *Sorghastrum pellitum* (563%).

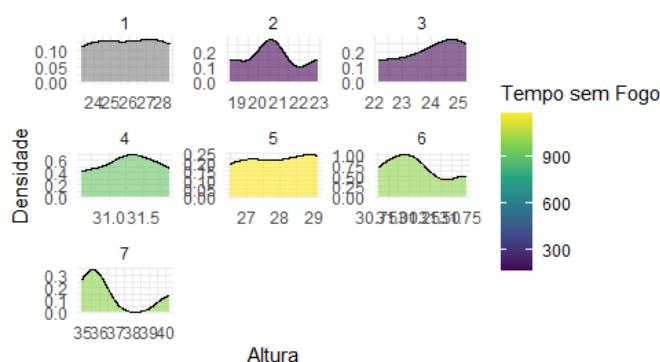


Figura 6. Distribuição da densidade do traço altura nos 7 blocos amostrais ao longo do gradiente de tempo sem fogo.

Analisando a variação da densidade do traço da SLA (Fig. 7 - A) com o gradiente do tempo (dias) sem o fogo, as áreas que apresentaram menor janela de tempo sem o distúrbio tiveram menores valores de SLA, contrastando com as áreas que apresentaram uma janela de tempo maior desde o último evento de fogo. O tempo sem o distúrbio reflete no crescimento vertical dos indivíduos, tornando-os mais competitivos e com áreas foliares maiores, com maior produtividade e potencial de substituir outras espécies (MOUILLOT et al., 2013). Com relação ao LDMC (Fig. 7 - B), é observado uma leve tendência de redução de acordo com a maior janela de tempo desde o último distúrbio. Relacionando a SLA e o LDMC, observa-se que espécies com estratégias de conservação de recursos têm folhas com maior teor de LDMC e menor SLA (PILLAR et al., 2009; STREIT, 2016).

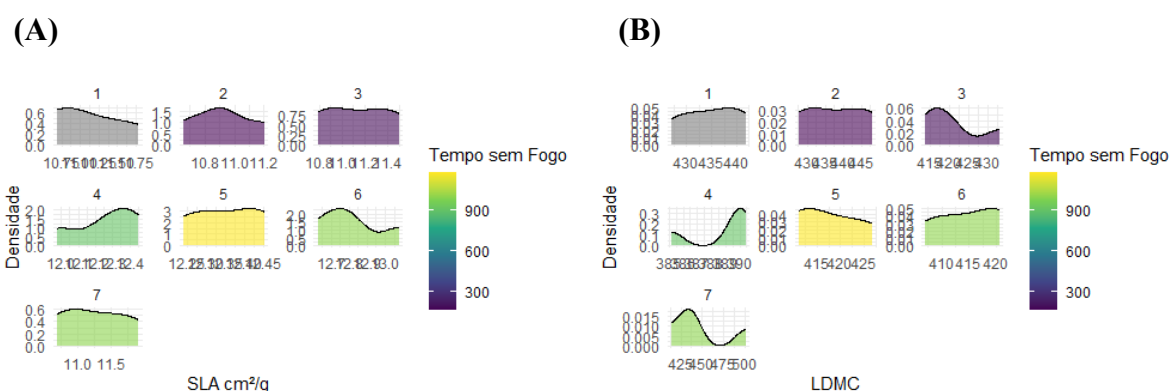


Figura 7. Distribuição da densidade dos traços “SLA” e “LDMC” nos 7 blocos amostrais ao longo do gradiente de tempo sem fogo.

4.3 INFLUÊNCIA DO FOGO NOS ATRIBUTOS FUNCIONAIS DAS COMUNIDADES VEGETAIS

Conforme a análise dos modelos estatísticos, apenas alguns atributos e métricas funcionais apresentaram resposta significativa aos preditores fogo e pastejo. A altura (Fig. 8 - A) demonstrou relação positiva ($F = 33.52$; $p = 6.724e-06$; $R^2 = 57\%$) ao tempo (dias) sem fogo, ou seja, quanto mais longa a janela sem o distúrbio, maior a altura das espécies dominantes nos blocos. O mesmo se dá para a largura (Fig. 8 - B) das lâminas foliares ($F = 8.81$; $p = 0.006$; $R^2 = 32\%$).

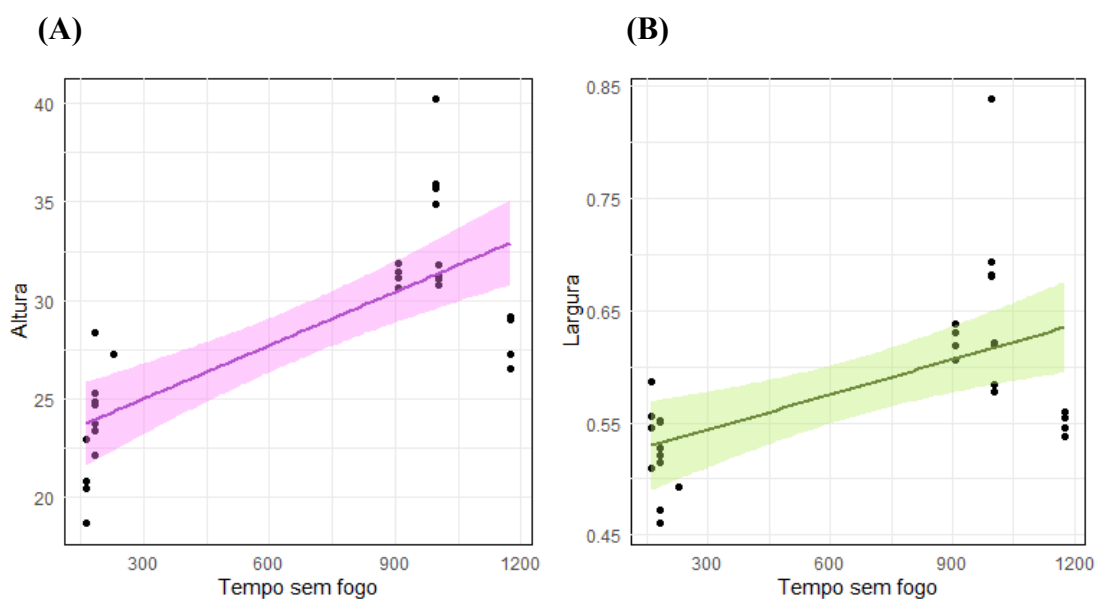


Figura 8. Efeito do tempo sem fogo (dias) na (A) altura e (B) largura das lâminas foliares dos indivíduos das espécies mais abundantes das comunidades.

O atributo da SLA também apresentou tendência positiva ($F = 21.72$; $p = 8.224e-05$; $R^2 = 43\%$) a variável preditora tempo sem fogo (Fig. 9). Observou-se que períodos mais curtos sem o distúrbio se relacionam a valores menores de SLA (cm^2), enquanto períodos mais longos com valores maiores.

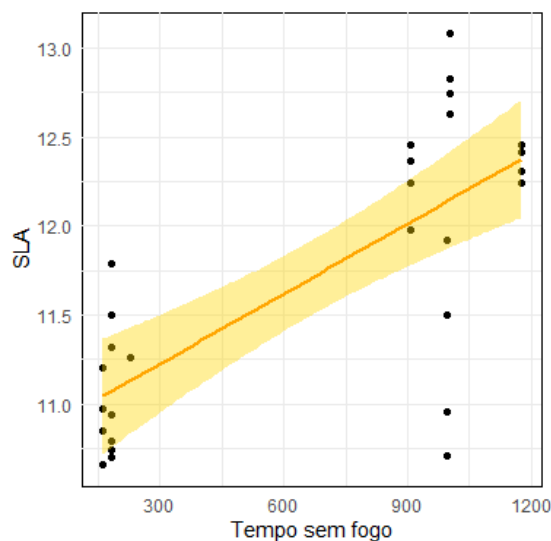


Figura 9. Efeito do tempo sem fogo (dias) na SLA (cm^2) das espécies mais abundantes das comunidades vegetais.

O índice de divergência funcional (Fig. 10) apresentou resposta positiva com a maior frequência do fogo ($F = 12.03$; $p = 0.001$; $R^2 = 29\%$), demonstrando que o grau de diferenciação da distribuição das abundâncias maximiza a divergência entre os atributos funcionais. Pontuamos que a frequência do fogo refere-se à quantidade de vezes que o distúrbio ocorreu dentro do período de tempo analisado.

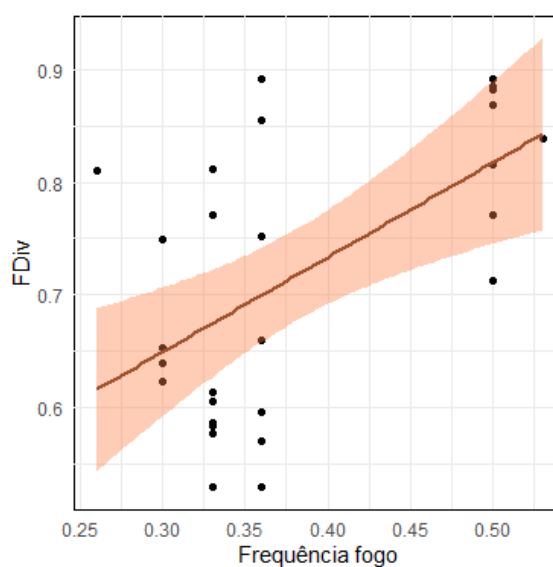


Figura 10. Efeito da frequência do fogo no índice de divergência funcional.

Por fim, a uniformidade funcional (Fig. 11) foi menor à medida que a (A) recorrência do fogo aumentou ($F = 28.88$; $p = 1.617\text{e-}05$; $R^2 = 53\%$), enquanto houve uma tendência de

menor uniformidade com o aumento da intensidade do (B) pastejo ($F= 4.09$; $p = 0.05$). Destacamos que a recorrência refere-se ao intervalo de tempo (em anos) entre as ocorrências do distúrbio por fogo.

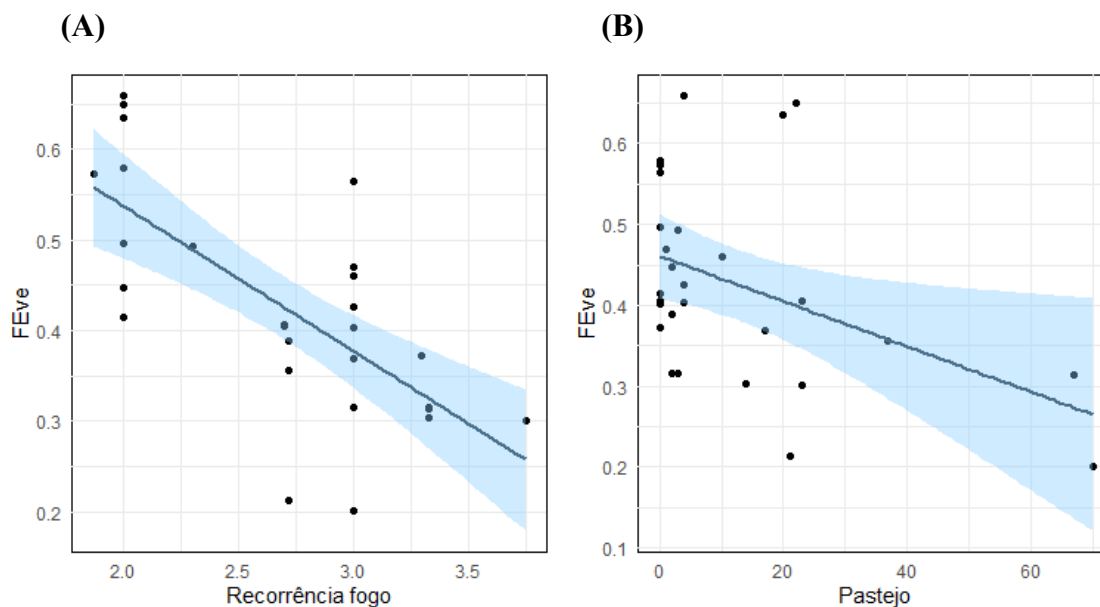


Figura 11. Efeito da (A) recorrência do fogo (dias) e do (B) pastejo na FEve.

Os atributos de comprimento e LDMC, assim como os índices de FRiq, FDis e RaoQ, não apresentaram valores significativos aos distúrbios de fogo e pastejo.

5. DISCUSSÃO

De acordo com nossos resultados, as espécies mais abundantes das comunidades vegetais dos campos subtropicais de altitude do PNSJ parecem ser influenciadas pelo distúrbio causado pelo fogo. Entre os atributos avaliados, observamos uma forte relação entre a altura e o desempenho das plantas nas comunidades. Nos blocos que foram recentemente queimados (com menor tempo sem fogo), a vegetação apresentou altura significativamente menor em comparação com aqueles que tiveram um intervalo mais longo sem o distúrbio (Figura 6). Essa informação já era esperada, visto que quanto maior a janela temporal sem o distúrbio, maior a tendência de crescimento vertical das espécies e da ocorrência do processo de sucessão ecológica (MOUILLOT et al., 2013).

As comunidades vegetais que foram recentemente queimadas (aproximadamente 2,5 anos) são compostas principalmente por espécies herbáceas, com destaque para *Andropogon*

lateralis, uma forrageira com alta capacidade de recuperação da biomassa pós-distúrbio por fogo (FIDELIS, 2012). Nos locais com a maior janela de tempo sem a ocorrência do fogo, observou-se a presença de espécies lenhosas de hábito subarbustivo/arbustivo, como *Baccharis uncinella* e *B. lymanii*, contribuindo significativamente para a cobertura vegetal. Conforme nossas hipóteses, as parcelas mais recentemente queimadas apresentam espécies mais baixas (MOUILLOT et al., 2013) e, de acordo com o processo de sucessão e ausência do distúrbio, a composição da comunidade tende a se modificar, havendo a substituição de espécies mais baixas, rasteiras e cespitosas, para algumas espécies de touceira alta e subarbustivas/arbustivas lenhosas (JONER et al., 2021; OVERBECK et al., 2007). É provável que o aumento na cobertura das espécies herbáceas rasteiras e cespitosas seja favorecido pelo fogo, que acaba reduzindo a biomassa acumulada das espécies mais altas (JONER et al., 2021; FIDELIS, 2012).

Ao examinar a relação entre a SLA e o LDMC (Fig. 7), observamos uma tendência inversamente proporcional, indicando que espécies com estratégias de conservação de recursos têm folhas com maior teor de LDMC e menor SLA (PILLAR et al., 2009; STREIT, 2016). Em contraposição às nossas expectativas, a SLA foi maior nas áreas que apresentaram maior tempo sem distúrbio por fogo (Fig. 9). O aumento na SLA indica um maior engajamento na captação de recursos e crescimento/renovação dos órgãos vegetativos, sendo uma estratégia mais expressiva nas áreas com distúrbio mais recente (PILLAR et al., 2009).

Além disso, nossos resultados indicam uma divergência funcional positiva com a frequência do fogo (Fig. 10), sugerindo que a ocorrência mais frequente de incêndios está associada a uma maior diferenciação ou variação nas características funcionais das espécies nas comunidades, ou seja, que as mudanças no regime de fogo estão influenciando a composição e a estrutura da comunidade vegetal, resultando em uma distribuição mais heterogênea de espécies com diferentes características funcionais. Isso está alinhado à ideia de que os ecossistemas campestres respondem positivamente ao distúrbio do fogo quando ocorre de forma esparsa e intermitente (PILLAR et al., 2009), corroborando com nossas hipóteses. Importante pontuar que, aliado à investigação das espécies mais abundantes, é relevante estudar a dinâmica das populações de espécies endêmicas e raras, visto que estas podem ser mais sensíveis aos distúrbios.

A uniformidade funcional (Fig. 11) apresentou tendência negativa como resposta à recorrência dos distúrbios de fogo e pastejo, indicando que a distribuição das abundâncias das espécies no espaço funcional fica menos consistente quando a recorrência dos distúrbios é maior, havendo maior diversificação dos tipos funcionais. Sabemos que a uniformidade

funcional das comunidades tende a diminuir após o distúrbio (MOUILLOT et al., 2013), no entanto, não conseguimos inferir se essa redução na uniformidade funcional indica respostas mais eficazes a diferentes condições e distúrbios ambientais ou se confere maior instabilidade e mudanças significativas nas interações dentro das comunidades.

De modo geral, observamos que o distúrbio por fogo afeta a estrutura funcional das comunidades vegetais, tanto relacionado aos atributos das espécies, como nos índices de divergência e uniformidade funcional. Nossos resultados indicaram que o fogo interfere na dominância e substituição de espécies de diferentes tipos funcionais, sendo importante para os grupos herbáceos de hábito prostrado e cespitoso.

Embora a análise funcional não tenha sido realizada para todas as espécies com cobertura $\geq 20\%$, devido a questões logísticas, meteorológicas e disponibilidade de campo, acreditamos que as variáveis funcionais das espécies coletadas são representativas, permitindo inferir aspectos da dinâmica funcional das comunidades. Para estudos futuros, planejamos avaliar as características funcionais das espécies faltantes com cobertura $\geq 20\%$ e incluir as espécies com cobertura $\geq 10\%$, visando tornar o trabalho ainda mais representativo. Além disso, observamos que outras variáveis ambientais, como inclinação, altitude, biomassa, incidência solar, umidade e profundidade do solo, são cruciais para aprofundar as análises e interpretações do funcionamento ecossistêmico entre as áreas amostradas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nosso trabalho proporcionou informações relevantes sobre a diversidade funcional das espécies mais abundantes das comunidades vegetais dos campos subtropicais de altitude do Parque Nacional de São Joaquim. No cenário atual de intensas mudanças ambientais, como as mudanças climáticas, compreender a dinâmica funcional das comunidades é fundamental para antecipar as respostas dos ecossistemas a essas transformações. Isso inclui investigar como diferentes espécies ocupam os nichos ecológicos e contribuem para o funcionamento ecossistêmico, como na produtividade primária e ciclagem de nutrientes, além de indicar a capacidade de resiliência às mudanças no ambiente. À medida que exploramos algumas questões, inevitavelmente surgem outras mais complexas, impulsionando nossos esforços na busca por novas respostas para essas lacunas.

Considerando as políticas restritivas ao manejo dentro das Unidades de Conservação, nossa pesquisa destaca a urgência de engajar estudos de longo prazo para avaliar os distintos efeitos dos distúrbios de fogo e pastejo nos campos. Nossos dados ressaltam que, ao longo da

sucessão ecológica e na ausência desses distúrbios, os campos tendem a ser gradualmente colonizados por poucas espécies cespitosas, ao passo que a presença de espécies lenhosas aumenta. Isso não apenas suscita preocupações sobre a instabilidade nas interações das espécies, no funcionamento dos ecossistemas e nos serviços por eles prestados, mas também destaca o potencial para eventos catastróficos desencadeados por incêndios acidentais ou criminosos, capazes de gerar impactos imensuráveis na biodiversidade do parque como um todo.

AGRADECIMENTOS

Sou grata ao PELD-BISC por me proporcionar a oportunidade de conhecer e me encantar pelos campos de altitude do Parque Nacional de São Joaquim, e, a partir deles, desenvolver minha pesquisa de conclusão de curso. Agradeço também ao CNPQ (Edital CNPQ/MCTI/CONFAP-FAPS/PELD de 2020) e à FAPESC (2021TR386) pelo financiamento deste trabalho.

Deixo minha gratidão ao/a Prof. Fernando Joner, Sofia Casali, Rafael Barbizan, Prof. Eduardo Giehl, Izabela (Bela), Luise (Luli) e Gabriel (Gabs), pessoas que me guiaram e acompanharam nesses caminhos profundos dos campos. Sem a parceria e companhia de vocês essa pesquisa não teria acontecido. Grata por tudo e tanto!

REFERÊNCIAS

- ASSIS, M. V. & DE MATTOS, E. A. Vulnerabilidade da vegetação de campos de altitude às mudanças climáticas. **Oecologia Australis**, v. 20, n. 2, p. 24–36, 2016.
- AXIMOFF, I. et al. Regeneração natural pós-fogo nos campos de altitude no Parque Nacional do Itatiaia, sudeste do Brasil. **Oecologia Australis**, 20(2): 200-218, 2016.
- BOLDRINI, I.I. Biodiversidade dos Campos do Planalto das Araucárias. **Ministério do Meio Ambiente**, 2009.
- CASALI, S. Efeitos do regime de fogo e do contexto ambiental na diversidade dos campos do planalto serrano catarinense, sul do Brasil. **Dissertação** submetida (Mestrado em Ecologia, Universidade Federal de Santa Catarina), 2023.
- CIANCIARUSO, M.V. et al. Diversidades filogenética e funcional: novas abordagens para a Ecologia de comunidades. **Biota Neotrop.** 9(3), 2009.
- DALMOLIM, E.B. Poaceae dos campos de altitude do Parque Nacional de São Joaquim, Santa Catarina, Brasil. **Dissertação** (Pós-graduação em Biologia de Fungos, Algas e Plantas, Universidade Federal de Santa Catarina), 2013.
- DIAZ, S. & CABIDO, M. Vive la Difference: Plant Functional Diversity Matters to Ecosystem Processes. **Trends in Ecology & Evolution**, 16, 646-655, 2001.
- FALKENBERG, D.B. Matinhas nebulares e vegetação rupícola dos Aparados da Serra Geral (SC/RS), sul do Brasil. **Tese** (CPG em Biologia Vegetal da Unicamp), 2003.
- FIDELIS, A. et al. Short-term changes caused by fire and mowing in Brazilian Campos grasslands with different long-term fire histories. **Journal of Vegetation Science** (23), 552–562, 2012.
- FIDELIS, A. et al. Does disturbance affect bud bank size and belowground structures diversity in Brazilian subtropical grasslands? **Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 209, n. 2, p. 110–116, 2014.
- FIDELIS, A. Is fire always the “bad guy”? **Flora**, 151611, 2020.
- GALETTI, M. et al. Ecological and evolutionary legacy of megafauna extinctions. **Biological Reviews**, v. 93, n. 2, p. 845–862, 2018.
- HENN et al. Disturbance type and timing affect growth and tolerance strategies in grassland plant leaves. **Rangeland Ecology & Management** 80, p. 18–25, 2022.
- HERINGER, I. & JACQUES, A.V.A. Plants adaptation to burning: forest-grassland transition. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.6, p.1085-1090, 2001.
- ICMBio. Parque Nacional de São Joaquim. Disponível em: <<https://www.icmbio.gov.br/parnasaojoaquim/plano-de-manejo.html>>.

- JONER, F., GIEHL, E.L.H. & PILLAR, V.D. Functional and taxonomic alpha and beta diversity responses to burning grasslands in southern Brazil. **Journal of Vegetation Science**, 32: e13060, 2021.
- KEDDY, P.A. Assembly and response rules: two goals for predictive community ecology. **Journal of Vegetation Science**, 3:157–164, 1992.
- KELEEY, J.E. et al. Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits. **Trends in Plant Science**, Vol. 16, Issue 8, 406-411, 2011.
- KLEIN, R.M. Aspectos dinâmicos da vegetação do sul do Brasil. **Sellowia** 36:5-54, 1984.
- MOUILLOT, D. et al. A functional approach reveals community responses to disturbances. **Trends in Ecology & Evolution**, 28(3), 167–177, 2013.
- OVERBECK, G. et al. Fine-scale post-fire dynamics in southern Brazilian subtropical grassland. **Journal of Vegetation Science**, 16(6), 655–664, 2005.
- OVERBECK, G. et al. Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, 9(2), 101–116, 2007.
- OVERBECK, G. E. et al. The South Brazilian grasslands – A South American tallgrass prairie? Parallels and implications of fire dependency. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 16, n. 1, p. 24–30, 2018.
- PAUSAS, J. G., & KEELEY, J. E. A Burning Story: The Role of Fire in the History of Life. **BioScience**, 59(7), 593–601, 2009.
- PÉREZ-HARGUINDEGUY, N et al. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. **CSIRO**. Retrieved from the University of Minnesota Digital Conservancy, 2013.
- PILLAR, V.P. et al. Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade. Editores. – Brasília: **MMA**, 2009.
- POORTER L. et al. Are functional traits good predictors of demographic rates? Evidence from five neotropical forests. **Ecology** 89:1908–1920, 2008.
- RICKLEFS, R.E. & RELYEA, R. A Economia da Natureza. 7ª ed. Rio de Janeiro: **Editora Guanabara Koogan**, 2016.
- SILVEIRA, F.A.O. et al. Fire and vegetation: Introduction to the special issue. **Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 286, 2022.
- STAUDE, I. R.; SEGAR, J. S.; TEMPERTON, V. M.; ANDRADE, B. O.; DECHOUM, M. S.; WEIDLICH, E. W. A.; OVERBECK, G. E. 2023. Prioritize grassland restoration to bend the curve of biodiversity loss. **Restoration Ecology**, 31(5): e13931.
- STREIT, H. Respostas funcionais da vegetação campestre ao manejo pastoril. **Dissertação** (Mestrado em Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul), 2016.

SÜHS, R. B.. Ecologia histórica, interações bióticas e a expansão da floresta com araucária sobre os campos subtropicais de altitude no sul do Brasil. **Tese** (Doutorado em Ecologia, Universidade Federal de Santa Catarina), 2019.

SÜHS, R.B., GIEHL, E.L.H. & PERONI, N. Preventing traditional management can cause grassland loss within 30 years in southern Brazil. **Sci Rep** 10, 783, 2020.

ZANIN, A.; LONGHI-WAGNER, H. M.; SOUZA, M. L. D. & RIEPER, M. Fitofisionomia das formações campestres do Campo dos Padres, Santa Catarina, Brasil. **Ínsula** (Florianópolis), v. 38, p. 42-57, 2009